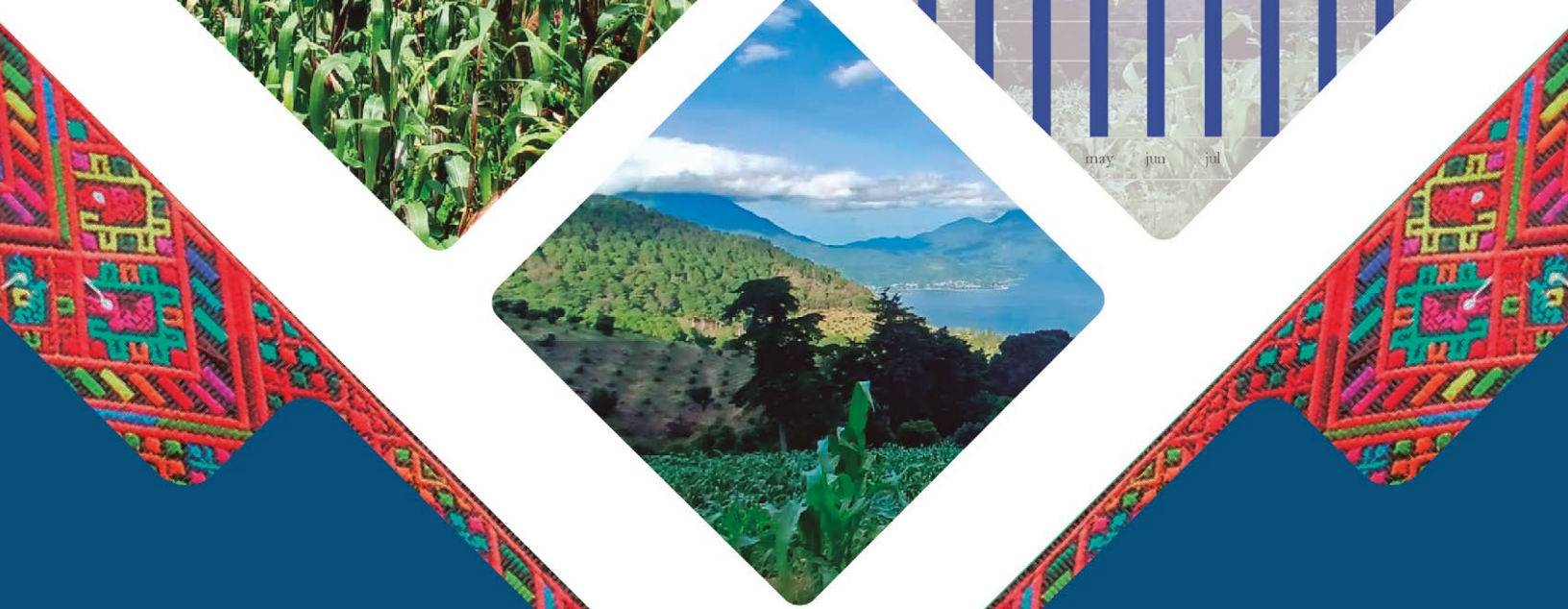
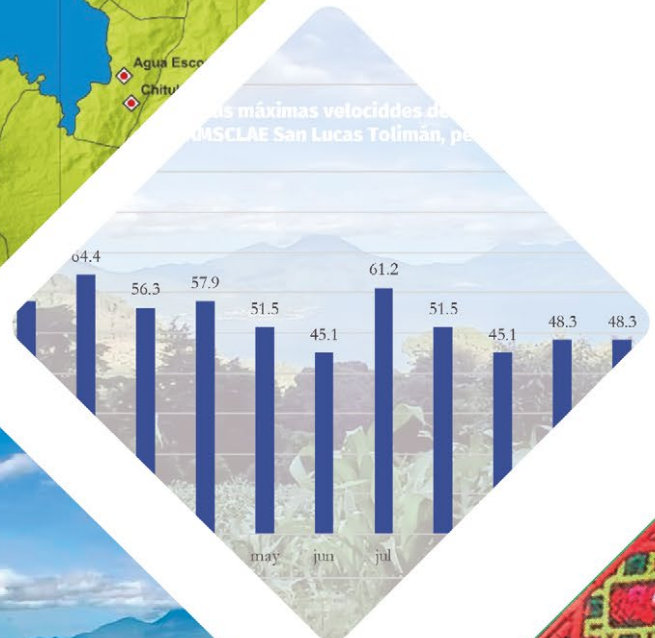
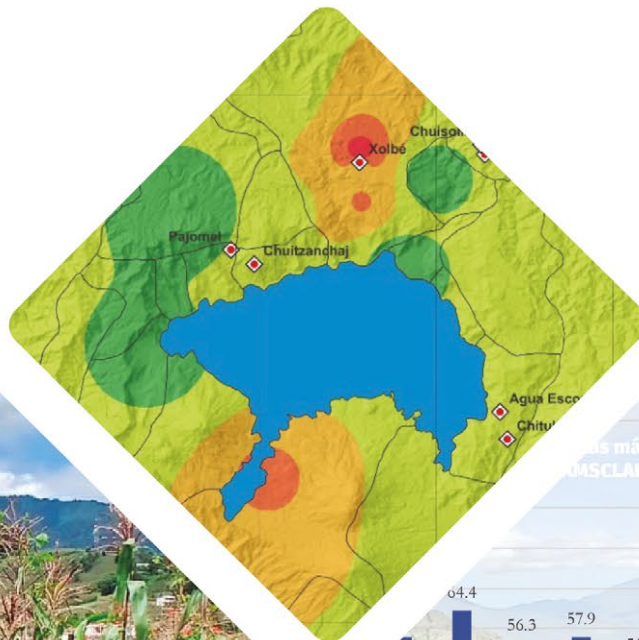


Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Xolbé, aldea El Tablón, municipio de Sololá, departamento de Sololá

Proyecto:

Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador







Cooperación
Española



Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático

Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Xolbé, aldea El Tablón, municipio de Sololá, departamento de Sololá

Proyecto:
Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador

GUATEMALA, 2025

Autores:

Dr. Pablo Yax López

Ing. Agr. Kevin Manolo Noriega Elías

Ing. Agr. Francisco Espinoza Marroquín

Diseño y diagramación

Licda. Yohana Ramírez

Cita Bibliográfica

Yax López, P., Noriega Elías, K. M., & Espinoza Marroquín, F. (2025). Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Xolbé aldea El Tablón, municipio de Sololá, departamento de Sololá. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. Guatemala.

Esta publicación se generó en el marco del proyecto: Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador

Esta publicación cuenta con la colaboración de la Cooperación Española a través de la Agencia Española de Cooperación (AECID). El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. y no refleja, necesariamente, la postura de la AECID»



ISBN: xxx-xxxx-xxxx-x-x

ICC 2025

Todos los derechos reservados

Índice

I. Introducción.....	11
II. Objetivos.....	13
III. Área de estudio.....	14
IV. Métodos y procedimientos utilizados.....	16
4.1. Delimitación o alcance territorial.....	17
4.2. Análisis de vulnerabilidad climática con enfoque participativo.....	17
4.3. Análisis del comportamiento histórico de variables meteorológicas y climáticas.....	18
V. Resultados.....	20
5.1 Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de Sololá.....	20
5.1.1 Comportamiento climático de la zona norte de la cuenca de lago de Atitlán.....	20
5.1.1.1 Temperatura.....	20
5.1.1.2. Lluvias.....	22
5.1.1.3 Inicio de la estación lluviosa.....	25
5.1.1.4 Lluvias fuertes.....	25
5.1.1.5 Sequía/ canícula.....	29
5.1.1.6 Vientos.....	31

5.1.2. Cambios en el clima	34
5.1.2.1 Cambios en la lluvia	35
5.1.2.2 Cambios en la temperatura	36
5.1.2.3 Escenarios climáticos para el departamento de Sololá.....	37
5.2. Vulnerabilidad climática en el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.	41
5.2.1. Medios de vida del caserío Xolbé	41
5.2.2. Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en el caserío de Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.	42
5.2.3. Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad.....	44
5.2.4. Análisis de vulnerabilidad climática.....	45
VI. Discusión de resultados.....	48
6.1. Sequía	48
6.2. Vientos:	49
6.3. Temperatura:	49
VII. Conclusiones	50
VIII. Referencias	51

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del municipio de Sololá, departamento de Sololá.	14
Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.....	16
Figura 3. Frecuencia de ocurrencia de temperatura absoluta máxima registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1994-2021 (FDP= Densidad de la Probabilidad; FFA= Probabilidad acumulada).....	20
Figura 4. Temperaturas máximas absolutas mensuales registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2023.....	21
Figura 5. Comportamiento de la temperatura mínima absoluta mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2023.	21
Figura 6. Correlación lineal de la lluvia acumulada anual entre las estaciones INSIVUMEH Labor Ovalle, Santiago Atitlán y Santa María El Tablón, periodo de referencia: 1991-2023.....	22
Figura 7. Lluvia acumulada anual registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María El Tablón, Sololá; periodo 1991-2023.	23
Figura 8. Anomalía de lluvia expresada en porcentaje del promedio anual del periodo 1990-2023, registrado en las estaciones de INSIVUMEH Santa María El Tablón y Santiago Atitlán	24
Figura 9. Acumulados mensuales de lluvia registrada en la estación INSIVUMEH Santa María, El Tablón.	25
Figura 10. Comportamiento de la lluvia acumulada mensual máxima, mínima, promedio y lluvia en estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón.	26
Figura 11. Cantidad de eventos que igualaron o superaron la lluvia acumulada mensual con probabilidad de 90% registrada en la estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2020.....	27
Figura 12. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.....	28
Figura 13. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá.....	29

Figura 14. Numero de eventos mensuales con lluvia menor al valor de probabilidad del 25 y 10% (seco y muy seco) y mayores al 75% y 90% (lluvioso y muy lluvioso), registrados en la estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2020.	30
Figura 15. Anomalía de lluvia bimestral mayo-junio, junio-julio y julio-agosto, estación Santa María, El Tablón.	31
Figura 16. Frecuencia acumulada de velocidad máximas del viento registrada en la estación meteorológica El Tablón AMSCLAE.	32
Figura 17. Dirección de los vientos con máxima velocidad registrada para el territorio de Xolbé, Sololá.	33
Figura 18. Mapa de velocidad y dirección de los vientos con máxima velocidad registrados en el municipio de Sololá, en el período 2021-2023.	33
Figura 19. Mapa de clasificación del viento en la escala Beaufort que afectó al municipio de Sololá, en el periodo 2021-2023.	34
Figura 20. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.....	35
Figura 21. Tendencia de precipitación extrema anual en Guatemala	36
Figura 22. Temperatura promedio registrada en estación meteorológica INSIVUMEH Santa María El Tablón, Sololá, período de 1994-2023.	37
Figura 23 Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio Sololá.	38
Figura 24. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en el territorio del municipio de Sololá, departamento de Sololá, Guatemala.....	39
Figura 25. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) en comparación de los años 2000-2050 en la precipitación (lluvia) acumulada anual en el territorio del municipio Sololá, departamento de Sololá, Guatemala.	40
Figura 26. Mapa de impactos históricos de amenazas climáticas/meteorológicas en el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.....	45
Figura 27 Ponderación acumulada de impactos sobre los medios de vida del caserío Xolbé, Sololá.	48

Índice de cuadros

Cuadro 1. Ecuaciones de correlación y coeficientes de determinación de la lluvia anual de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y Labor Ovalle.....	23
Cuadro 2 Lluvia máxima acumulada en un día durante los fenómenos meteorológicos ocurridos en el periodo 1991-2023 en Sololá.....	28
Cuadro 3 Medios de vida más importantes del caserío Xolbé.....	42
Cuadro 4. Calendario estacional para el caserío Xolbé, Santa María El Tablón, Sololá.....	43
Cuadro 5. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para el caserío Xolbé.....	46

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno global de mucha relevancia a nivel mundial, especialmente, por sus múltiples efectos negativos en los diferentes sistemas socio-ecológicos en el planeta Tierra. Actualmente, se están impulsando acciones para contrarrestar sus múltiples efectos negativos en los diferentes ecosistemas, ciudades, poblaciones rurales y los sistemas productivos agrícolas (cultivos).

De acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, (2014), el cambio climático es una variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos.

El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos (emisiones de gases de efecto invernadero) persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo como afirma IPCC (2014). En los últimos decenios, los cambios en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Las evidencias de los impactos del cambio climático son más sólida y completa para los sistemas naturales.

El presente documento sintetiza los principales hallazgos de cambios en el comportamiento de variables meteorológicas para el territorio del departamento de Sololá y con influencia sobre el caserío Xolbé del municipio de Sololá. Entre

los principales hallazgos se pueden mencionar: la tendencia de incremento de la lluvia desde el año 1979. Los años 2010 y 2005 mostraron los valores más altos de acumulados de lluvia anual, asociados con los eventos ciclónicos Agatha (2010) y Stan (2005). Por el otro lado los años con los menores valores de precipitación se asocian con el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS), destacándose los años 2002, 2016 y 2020. Sin embargo, el acumulado de mayo de 2024 destaca con el menor acumulado de lluvia (17.6 mm) de todos los registros históricos de la zona.

A través de herramientas participativas se identificaron las zonas expuestas a las siguientes amenazas: vientos fuertes, fuertes lluvias y heladas. En cuanto a vulnerabilidad climática de los principales medios de vida del caserío Xolbé, Sololá, resalta la actividad de producción de aves de criollas, la mano de obra no calificada (jornalero) y la agricultura, entre otras actividades.

La agricultura es la actividad más vulnerable ante las amenazas descritas como fuertes vientos, fuertes lluvias, sequía y aumento de la temperatura. La percepción comunitaria sobre el incremento de temperatura concuerda con los registros históricos de la estación Santa María El Tablón, con una tendencia clara de incremento de la temperatura a partir del año 2009.

El conocimiento generado a través de este informe se convierte en una herramienta para la identificación de amenazas puntuales. Estos hallazgos deben considerarse en el diseño de estrategias de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático, ya que en ambos pueden impactar negativamente los sistemas agroalimentarios, especialmente, aquellos más frágiles dentro del contexto del departamento de Sololá.



II. OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar la vulnerabilidad de los principales medios de vida de la población del caserío Xolbé, aldea Santa María El Tablón, Sololá ante la variabilidad y el cambio climático.

Objetivos específicos:

1. Definir y analizar el comportamiento de las principales variables climáticas/meteorológicas para el periodo 1994 - 2024.
2. Determinar las amenazas climáticas de mayor importancia para la población del territorio y sus principales medios de vida.
3. Establecer el grado de vulnerabilidad climática de los medios de vida basado en percepción comunitaria.

III. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Sololá es la cabecera del departamento del mismo nombre. Es uno de los diecinueve municipios que conforman el departamento de Sololá. (SEGEPLAN, 2022). Se localiza a 140 kilómetros al occidente de la ciudad de Guatemala con la que se comunica por medio de la carretera CA-1 Ruta Interamericana, la cual se encuentra pavimentada y es transitable todo el año. (SEGEPLAN, 2022).

Sus colindancias son: al norte con el municipio de Totonicapán del departamento de Totonicapán y el municipio de Chichicastenango del departamento del Quiché; al este con los municipios de Concepción y Panajachel del departamento de Sololá; al sur con el lago de Atitlán; y al oeste con los municipios de Santa Cruz La Laguna, San José Chacayá y Nahualá del departamento de Sololá. (SEGEPLAN, 2022).

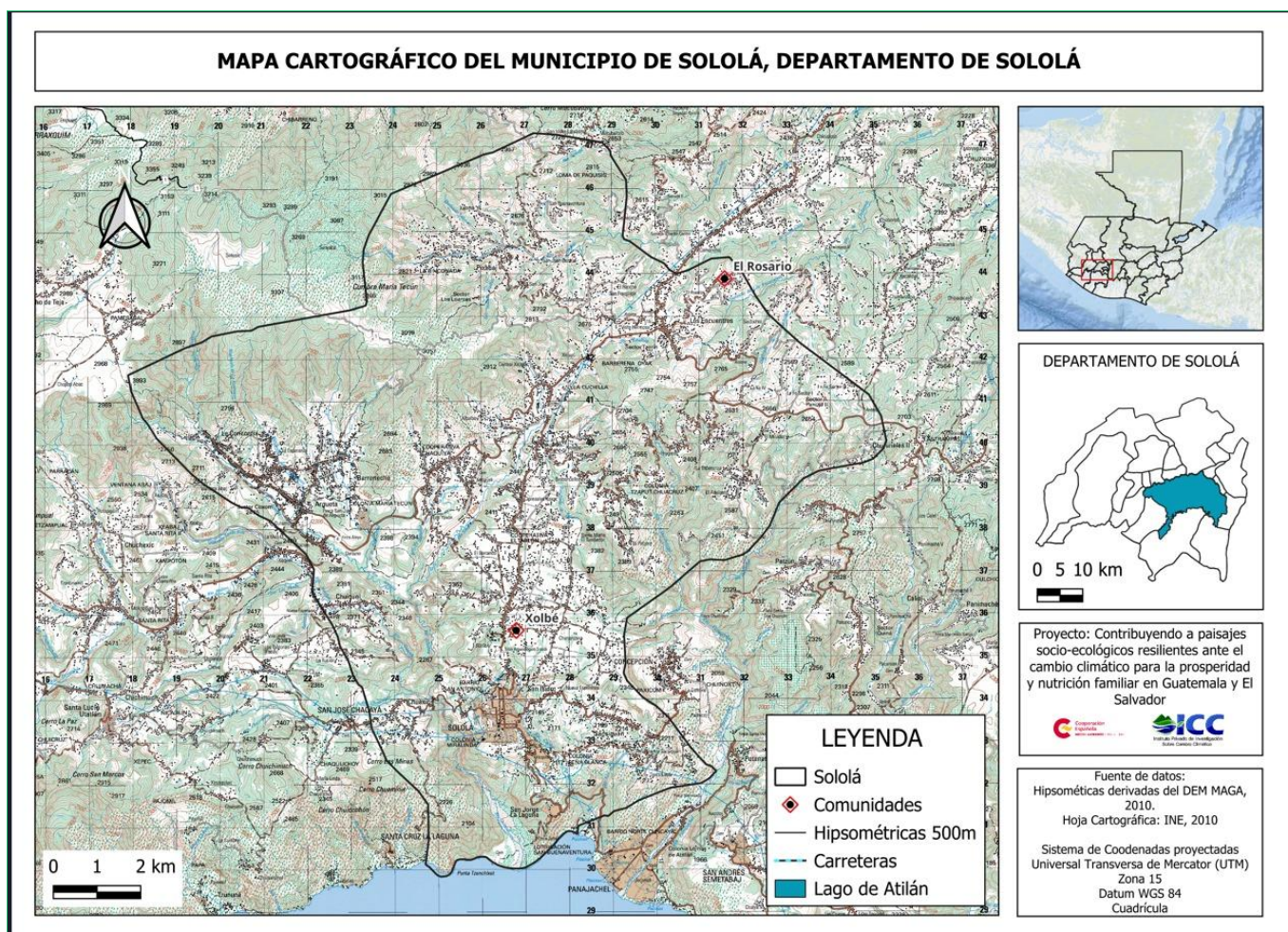


Figura 1. Ubicación del municipio de Sololá, departamento de Sololá.

El nombre de Sololá se deriva del vocablo 'Tzolojha' o 'Tz'olojya', que en Kaqchikel, Kiche' y Tz'utuhil significa agua de sauco, refiriéndose al agua que se obtiene de la planta de sauco, debido a que en la localidad abundaba este arbusto, el cual crecía en los alrededores de manantiales y ríos que son parte de la cuenca del lago Atitlán, aunque también se tiene la versión de que dicho término proviene de las expresiones "Tzol" (volver o retornar), "ol" (partícula o continuación) y "ya" (agua); lo que significaría retornar o volver al agua. (SEGEPLAN, 2022)

El municipio de Sololá se encuentra ubicado dentro de la cuenca del lago de Atitlán, por lo que es parte del área protegida de la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA). La parte norte del municipio en cambio constituye parte de la cuenca del Río Motagua. Sus coordenadas son: Latitud 14° 46' 23.21'' y Longitud 91° 10' 58.98''. Su altitud promedio es de 2,123 metros sobre el nivel del mar con un clima que es eminentemente frío en la parte norte y central y en la parte baja, a orillas del Lago de Atitlán es de clima templado. Se manifiestan dos estaciones claramente definidas, época lluviosa y no lluviosa (SEGEPLAN, 2022). Su extensión territorial es de 130.55 kilómetros cuadrados, lo que representa un 8.86% del total del territorio del departamento de Sololá. Su fisiografía es de las denominadas tierras altas volcánicas, que se caracteriza por la diversidad de accidentes geográficos (SEGEPLAN, 2022).

Los suelos del municipio mayoritariamente son del orden Andisol e Inceptisol. En menor proporción se encuentran del orden Entisoles y Molisoles. Los suelos andisoles presentan baja densidad aparente y baja capacidad de retención de humedad y los suelos inceptisoles son suelos minerales de baja evolución pero con horizontes bien diferenciado.

En cuanto al origen de los suelos, se encuentran de tipo piroclástico no consolidados (cenizas y pómez), piroclástico consolidados (tobas), clásticos gravigénicos, y clástico hidro-volcánicos (MAGA, 2013).

Según la clasificación Thornthwaite citado en (MAGA, 2013) el clima de la región corresponde al tipo "semifrío húmedo" (Código S), que se caracteriza por presentar rangos de temperaturas medias anuales entre 14.3 y 17.0 °C y un rango de precipitaciones de 1,001 a 2,000 mm anuales y un rango de altitudes de 1,800 a 2,300 msnm. Los polígonos de suelos de la unidad presentan los siguientes valores: temperatura media anual de 15.2 °C, precipitación anual media de 1,247 mm y una altitud media de 2,152 msnm.

El municipio se ubica dentro de la Zonas de Vida (Sistema Holdridge, De La Cruz, 1983) denominada bosque húmedo +montano bajo subtropical (bh-MB), cuyas especies indicadoras son encino (*Quercus* spp.), pino triste (*Pinus pseudostrobus*), pino de ocote (*Pinus montezumae*), ilamo (*Alnus jorullensis*), capulín (*Prunus capulli*), madrón de tierra fría (*Arbutus xalapensis*) y otros.

IV. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS

Para este estudio se consideró una combinación de métodos estadísticos y técnicas participativas para recopilar y/o analizar la información meteorológica/climática, áreas de impacto de fenómenos climáticos pasados y percepción de riesgo entre otros factores.

El análisis de vulnerabilidad fue elaborado considerando los elementos que se detallan en la figura 2. Así mismo, se emplean los conceptos y definiciones del IPCC en su sexto informe (2022). Con base a dicho informe del IPCC, la amenaza es definida como el acaecimiento potencial de un fenómeno o tendencia física que pueda causar

pérdidas de vida, lesiones u otros efectos negativos. La exposición se refiere a la presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. La vulnerabilidad es conceptualizada como la propensión o predisposición que un sistema puede verse adversamente afectada, el riesgo es definido como la potencial consecuencia adversa para sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con tales sistemas.

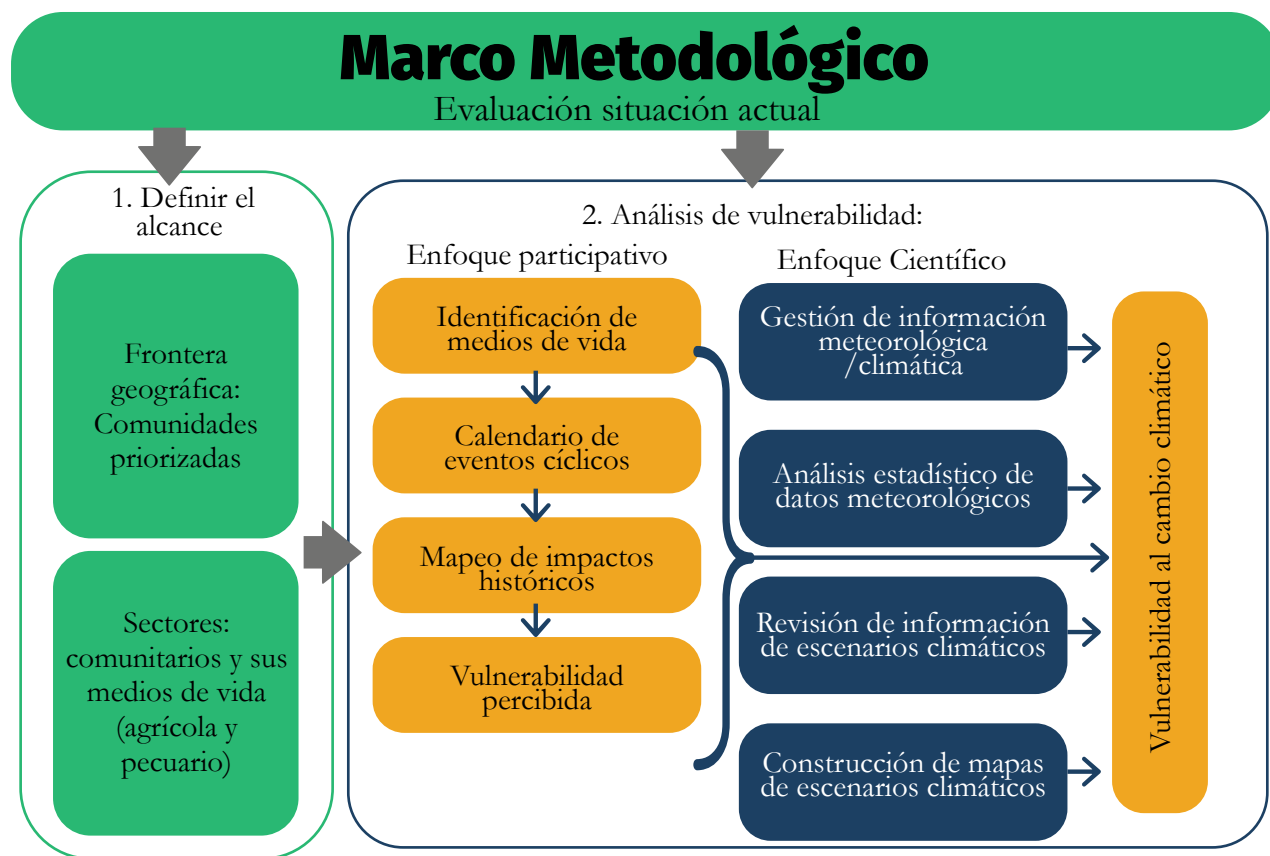


Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.

Uno de los primeros pasos fue la definición de la escala espacial y se basó en la delimitación de la comunidad (caserío) con función de la información proporcionada por actores locales. Entendiendo a una comunidad como un grupo de personas que se encuentran dentro de un territorio particular y comparten elementos culturales, económicos, sociales y ambientales en común. Así mismo, se priorizaron los principales medios de vida de la cual dependen las familias y población en general.

La segunda fase se basó en un enfoque participativo para sistematizar la percepción comunitaria en cuanto a la vulnerabilidad y amenazas climáticas que ha impactado históricamente en el territorio de estudio. Para ello se organizaron talleres focales y empleando distintas herramientas participativas para la evaluación de la vulnerabilidad climática a escala comunitaria. La tercera fase fue desarrollada de manera paralela a la anterior, para analizar el comportamiento del clima basándose en información meteorológica/ climática disponible para el departamento de Sololá y el municipio de Sololá.

4.1 Delimitación o alcance territorial

La comunidad fue seleccionada en función de listado definido en el proyecto: Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes ante el cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador, priorizando comunidades con niveles altos de prevalencia de desnutrición en la población infantil. La delimitación espacial se basó en el conocimiento de los líderes comunitarios, quienes reconocen los límites territoriales de su territorio con las circunvecinas.

4.2. Análisis de vulnerabilidad climática con enfoque participativo

- 4.2.1. El primer paso, consistió en la identificación de líderes comunitarios, agricultores, y la convocatoria de representantes del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA- y del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS- del municipio y otros actores sociales clave de ambos géneros.
- 4.2.2. Por medio de un taller focal se identificaron y se discutieron los diferentes medios de vida que emplean los hogares y su vulnerabilidad a través de la identificación de amenazas de índole climático y geofísicas detonadas por eventos hidrometeorológicos. Para gestionar el conocimiento sobre los medios de vida y las amenazas climáticas, se emplearon varias herramientas para la recopilación de información (matrices en papelógrafos), entre los cuales se mencionan: el calendario estacional, matriz y priorización de medios de vida, matrices de vulnerabilidad y mapeo de exposición histórica a amenazas climáticas.
- 4.2.3. Para la identificación de medios de vida de mayor relevancia dentro de la comunidad, se contó con la valoración de los participantes de manera colectiva sobre las principales actividades o medios de vida que emplean.
- 4.2.4. En cuanto a eventos o actividades agrícolas cíclicas de relevancia, se utilizó la herramienta calendario estacional, bajo la escala de meses del año natural para la identificación de los períodos de ocurrencia de los fenómenos o el inicio y finalización de actividades relevantes.

- 4.2.5. Para el mapeo de exposición histórica de amenazas climáticas dentro de la comunidad, se construyó un croquis de la localidad, que permitió la identificación de los principales elementos de la comunidad como: áreas de vivienda, áreas de cultivos, escuela e iglesias. Así mismo, las áreas que están expuestas a amenazas o que fueron impactadas por fenómenos climáticos en el pasado.
- 4.2.6. Para la estimación de la vulnerabilidad de los principales medios de vida se empleó la matriz (cuadro) de vulnerabilidad de medios de vida y la de valoración escala de Likert de (0 a 3), donde: 0 = nulo, 1 = bajo, 2 = medio y 3 = alto. La herramienta brindó la oportunidad de la recolección de información de manera personalizada (individual) al recolectar la percepción de cada participante.
- 4.2.7. Toda la información obtenida a través de las distintas herramientas empleadas durante el taller fue compilada y organizada de manera digital utilizando hojas de cálculo de Excel entre otras herramientas.
- 4.2.8. En función de los insumos o información generada en las subsecciones anteriores, se discutió el efecto de las amenazas climáticas sobre los medios de vida y sus impactos en la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares de la comunidad de estudio.

4.3. Análisis del comportamiento histórico de variables meteorológicas y climáticas.

- 4.3.1. En función de los insumos o información generada en las subsecciones anteriores, se discutió el efecto de las amenazas climáticas sobre los medios de vida y sus impactos en la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares de la comunidad de estudio.
- 4.3.2. Para el análisis de los datos climáticos y/o meteorológicos se requirió de un proceso de gestión/obtención de los registros de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) ubicadas en el departamento de Sololá como: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y El Capitán. Los datos correspondientes se registran a partir de 1994 hasta el año 2023. Así mismo, se gestionó información meteorológica de las estaciones que administra AMSCLAE, ANACAFE y la organización Vivamos Mejor, para el período 2016 a 2023.
- 4.3.3. Posteriormente se procedió a la revisión de datos faltantes y errores humanos en la transcripción en las bases de datos climáticos y meteorológicos. Así mismo, se verificó la continuidad y validez de los datos para luego analizarlos.
- 4.3.4. Se efectuó un análisis de temperatura a los datos de registros de máximos y mínimos absolutos y a los datos de promedio mensual. El análisis consistió en el uso de estadística descriptiva del conjunto de datos meteorológicos/climáticos para determinar las medidas de tendencia central, de dispersión y de posición. Además, se

efectuó un análisis de datos agrupados y de correlación lineal. Se efectuaron cálculos de probabilidades de ocurrencia de las distintas magnitudes para determinar la temperatura con probabilidad de ocurrencia de 10, 25, 50, 75 y 90%. El análisis de tendencia de temperatura se realizó mediante el análisis de promedio anual de temperatura, máximos y mínimos absolutos y su respectiva media móvil con periodo de 5 años.

4.3.5. Para el análisis de lluvia, se calculó las variables de estadística descriptiva para los registros mensuales y acumulados anuales, análisis de anomalía de lluvia anual y mensual, además, se determinó la magnitud de la lluvia mensual con probabilidad de ocurrencia de 10, 25, 50, 75 y 90%, con distribución Gamma generalizada extendida, ya que esta función no admite valores de cero, solo se realizó para la estación lluviosa, mayo – octubre. El análisis de tendencia de lluvia se realizó con correlación lineal y análisis de anomalías anuales. Se realizó análisis de correlación entre la anomalía de lluvia anual registrada en las estaciones INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María, El Tablón con la anomalía de temperatura del Océano Pacífico en la región El Niño 3.4.

4.3.6. Para realizar el análisis del viento y lluvia diaria se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas de la AMSCLAE con periodo de registro desde 2021-2023. Además, se complementaron con datos de las estaciones meteorológicas de Santo Tomás Pachuj con registros desde 2019 y San Jerónimo Miramar con registros desde 2013, ambas de la Asociación Nacional de Café -ANACAFÉ-.

4.3.7. El modelamiento de la distribución espacial de las variables meteorológicas temperatura, lluvia, viento, fue con interpolación Inverso de la distancia de los valores promedio, máximos, mínimos y anomalías de las variables asociadas a la temperatura, lluvia y viento, para el análisis espacial y cartografía de los datos se empleó el software QGIS versión 3.20.3. El análisis estadístico de los datos se realizó con el software Microsoft Excel y el software InfoStat versión 2020.

4.3.8. En cuanto a los escenarios climáticos, se empleó el producto generado de la Universidad de Nebraska para Guatemala a una resolución espacial de 4 Km cuadrados. A partir de dichos insumos se elaboraron los mapas de escenarios climáticos en cuanto a temperatura máxima y promedio. Además, se proyectó la diferencia de lluvia que podría generarse para los meses de mayo, junio y julio.

V. Resultados

5.1. Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de Sololá

5.1.1 Comportamiento climático de la zona norte de la cuenca de lago de Atitlán

La información climática para el departamento de Sololá empleado para el presente análisis se basa en los registros de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María El Tablón desde el año 1994.

5.1.1.1 Temperatura

La temperatura máxima absoluta mensual con mayor frecuencia (Figura 3), se encuentra en el rango de 22.94 a 24.0°C, con el 47.9% de los registros; mientras que un 19% de los registros de temperaturas se contabilizan entre 24.02°C y 25.09°C. Las temperaturas entre 25.1°C a 30.49°C son temperaturas extremas para el período analizado, ya que éstas superan la probabilidad empírica del 90% de los registros de temperatura.

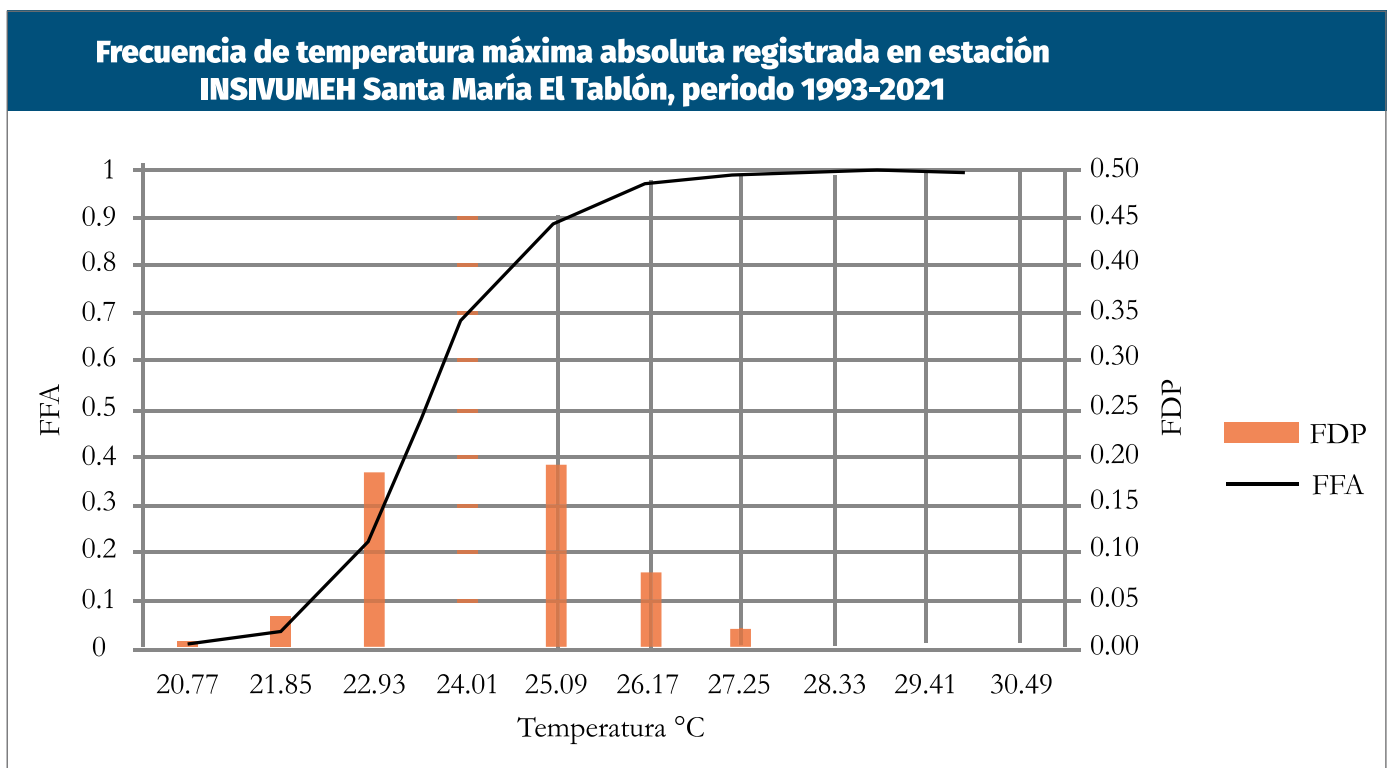


Figura 3. Frecuencia de ocurrencia de temperatura absoluta máxima registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1994-2021 (FDP= Densidad de la Probabilidad; FFA= Probabilidad acumulada).

Comportamiento de la temperatura máxima mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023

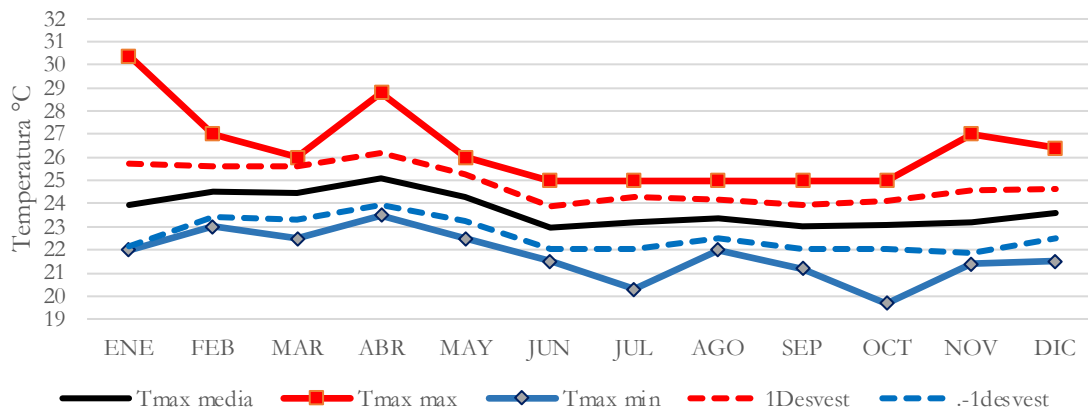


Figura 4. Temperaturas máximas absolutas mensuales registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.

El comportamiento de la temperatura máxima mensual tiende a incrementarse desde el mes de noviembre (Figura 4) hasta alcanzar los registros más altos de temperatura en los meses de enero y abril, y descendiendo en mayo y junio. A partir de junio hasta octubre se registran los valores más bajos de temperaturas máximas durante el año. Los

valores de temperaturas máximas van desde los 19.7°C hasta los 30.5°C. La temperatura máxima representa la temperatura diurna, por lo tanto, los días más frescos se presentan en los meses de junio a octubre, mientras que, los días más calurosos se registran en el mes de noviembre a mayo (Figura 4).

Comportamiento de la temperatura mínima mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023

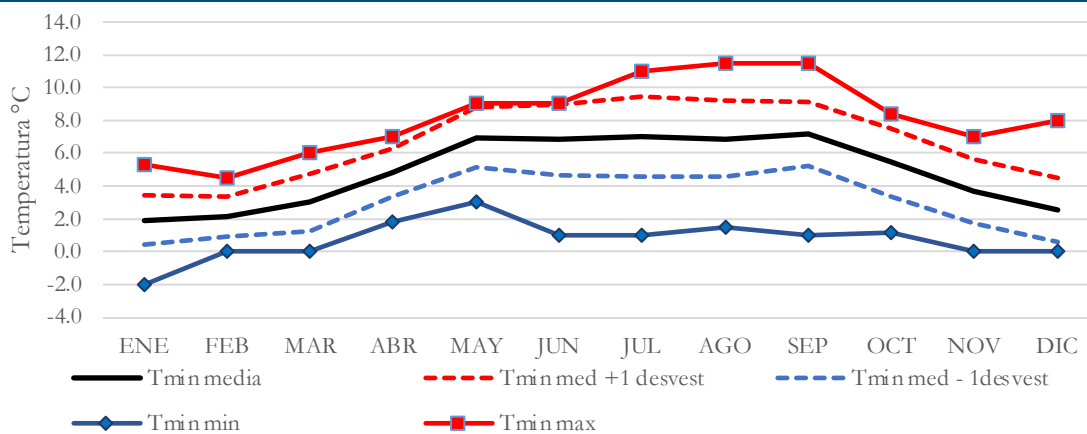


Figura 5. Comportamiento de la temperatura mínima absoluta mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.

La dinámica de la temperatura mínima durante el año es contraria al comportamiento de la temperatura máxima (Figura 5), observándose una reducción en los valores de la temperatura mínima a partir de noviembre hasta marzo y con incrementos a partir de abril. Los datos de temperaturas mínimas con valores más altos se registran desde mayo hasta septiembre. Las temperaturas mínimas representan la temperatura nocturna/madrugada, por lo tanto, las noches más frías se registran desde de noviembre hasta marzo y las noches más calurosas se registran desde abril hasta octubre. El valor promedio de los registros de temperaturas mínimas absolutas de la estación Santa María El Tablón, para el periodo 1993-2020, fue de 4.93°C.

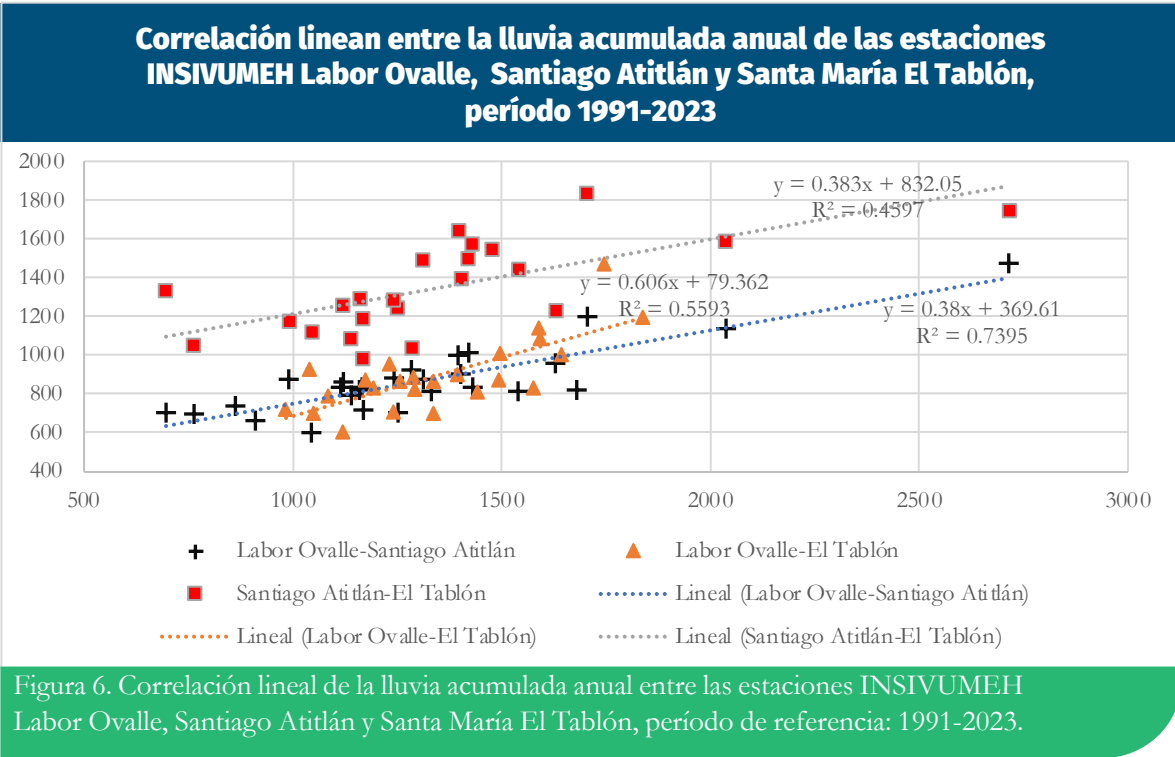
Las temperaturas comunes o con mayor frecuencia son las que se encuentran entre las probabilidades de ocurrencia del 25 y 75%, siendo de 3.07°C y 6.79°C, respectivamente. Las temperaturas mínimas extremas son inferiores a 1.4°C y su ocurrencia está por debajo del 10% de probabilidad, mientras que

la temperatura que excede el 90% probabilidad de ocurrencia, son aquellas superiores a 8.47°C. Las noches/madrugadas frías para la zona de estudio son aquellas donde la temperatura se encuentra entre 1.4°C y 3.07°C.

5.1.1.2 Lluvias

Como se mencionó anteriormente, el análisis de la lluvia (precipitación) en el departamento de Sololá se efectuó utilizando datos de las estaciones de referencia Santa María, El Tablón y Santiago Atitlán. Además, se incluyó la estación de Labor Ovalle, ubicada en el departamento de Quetzaltenango.

El análisis mostró una correlación lineal positiva entre la lluvia registrada en las estaciones mencionadas, siendo más alta entre las estaciones Santiago Atitlán y Labor Ovalle (R2 0.74). La correlación entre las estaciones Santiago Atitlán y Santa María El Tablón fue moderada (R2 0.459), mientras que entre las estaciones Labor Ovalle y Santa María El Tablón, el coeficiente fue R2 0.559.



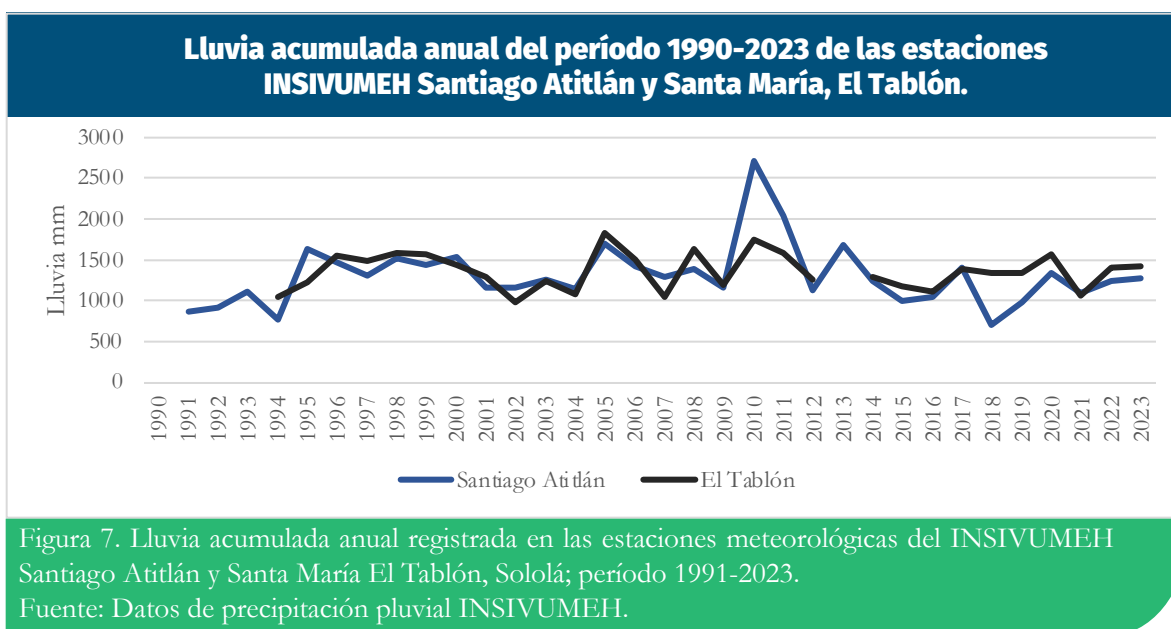
Cuadro 1. Ecuaciones de correlación y coeficientes de determinación de la lluvia anual de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y Labor Ovalle.

X	Y Labor Ovalle		Y El Tablón	
	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²
Santiago Atitlán	$y = 0.38x + 369.61$	0.74	$y = 0.383x + 832.05$	0.46
El Tablón	$y = 0.606x + 79.362$	0.559		

La relación entre la precipitación en la región del departamento de Sololá puede estar influenciada por el efecto climático continental. Se estimó el índice continental térmico y categoriza al clima de la zona de influencia de las tres estaciones como un clima Semicontinental. El índice continental termo pluviométrico propuesto por Del Valle, J. (1991), considera la diferencia pluviométrica entre la época lluviosa y la no lluviosa. Para los datos registrados por

las estaciones Santiago Atitlán y Labor Ovalle presentan un mayor índice continental que en el caso de Santa María El Tablón, con índices de 29.6, 16.4 y 6.9, respectivamente.

La lluvia acumulada anual registrada en el periodo 1993-2023 para la zona norte-este del departamento de Sololá (estación Santa María el Tablón) está comprendida entre 975 mm y 1837mm.



En el departamento de Sololá, la lluvia interanual varía en un 40 % con respecto al promedio anual del periodo 1990-2023, según datos de las estaciones del INSIVUMEH en Santiago Atitlán y Santa María, El Tablón. El año 2010, presentó el acumulado anual más extremo, superando en 107% el promedio anual en la estación Santiago Atitlán y el 28 % en la estación Santa María, El Tablón.

La anomalía de lluvia acumulada anual muestra cierta relación con la anomalía de temperatura del océano Pacífico en la región El Niño 3.4 (figura 8). Se observó que, cuando la anomalía

de temperatura en el océano Pacífico estuvo por debajo del promedio, la lluvia en el departamento de Sololá registró incremento. En contraste, un incremento en la temperatura oceánica se asoció con una reducción de las lluvias en la región. La correlación lineal de Pearson entre la anomalía de temperatura del océano Pacífico y la lluvia registrada en las estaciones Santiago Atitlán y Santa María fue de 0.55 y 0.52, respectivamente. Sin embargo, los coeficientes de determinación R2 fueron relativamente bajos (0.30 y 0.278), indicando una relación moderada entre ambas variables.

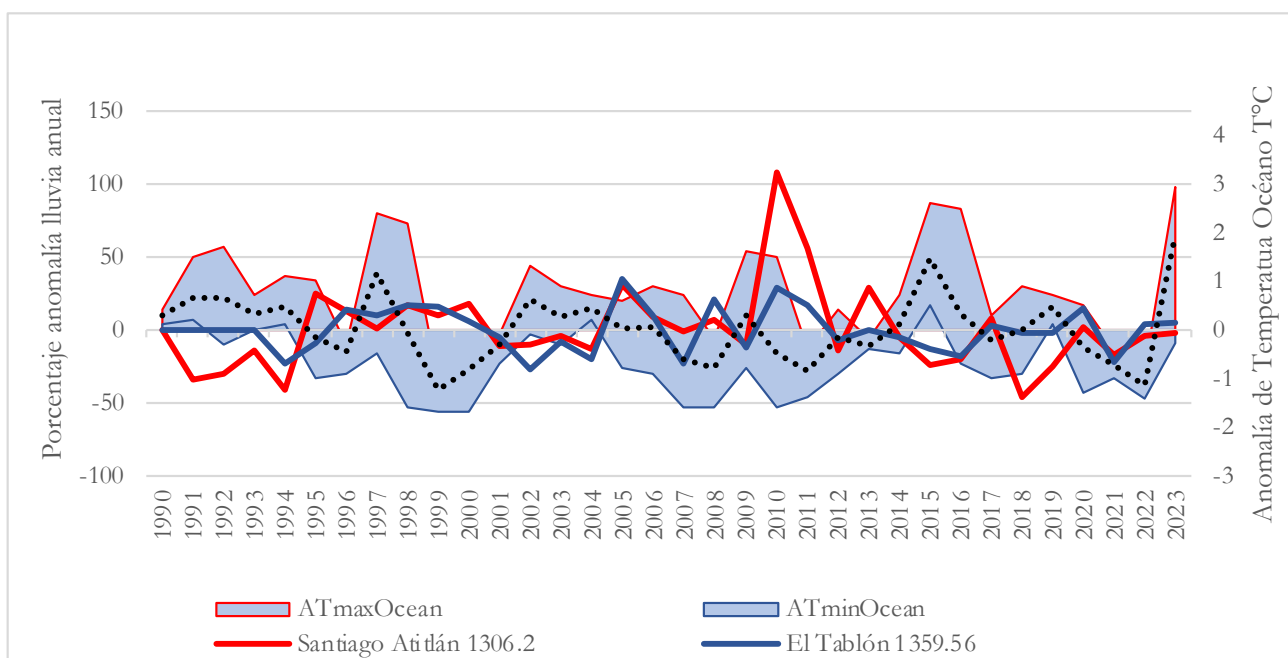


Figura 8. Anomalía de lluvia expresada en porcentaje del promedio anual del período 1990-2023, registrado en las estaciones de INSIVUMEH Santa María El Tablón y Santiago Atitlán
Fuente: Gráfica elaborada con datos de INSIVUMEH y NOAA (2024).

La reducción de la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico a menos del valor promedio alcanzando -0.5°C , se considera como una fase fría y se cataloga como La Niña, mientras que, sí la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico es superior al

promedio a más de 0.5°C se cataloga como El Niño y es la fase cálida del ENOS (CIIFEN, 2017). El efecto de cada fenómeno influye en la lluvia que se registra en el departamento de Sololá y el territorio guatemalteco en general, dado a esas teleconexiones climáticas existentes.

5.1.1.3. Inicio de la estación lluviosa

La estación lluviosa en el departamento de Sololá se establece en mayo, en el presente análisis se emplea el criterio de inicio de lluvia, cuando el acumulado de lluvia supera la evapotranspiración mensual (117 mm), que es la evapotranspiración promedio mensual acumulada, derivada de la evapotranspiración anual de 1,400 mm (INSIVUMEH, 2002). La ocurrencia de la lluvia en las cantidades que

supere la evapotranspiración potencial mensual se ha observado desde abril en la estación Santa María, El Tablón. Mientras que en la estación Santiago Atitlán, la lluvia ha superado la evapotranspiración mensual en el registro de 29 años con un evento en febrero, un evento en marzo y un evento en abril, estando asociados, posiblemente a los frentes fríos de la temporada invierno-primavera en el hemisferio norte.

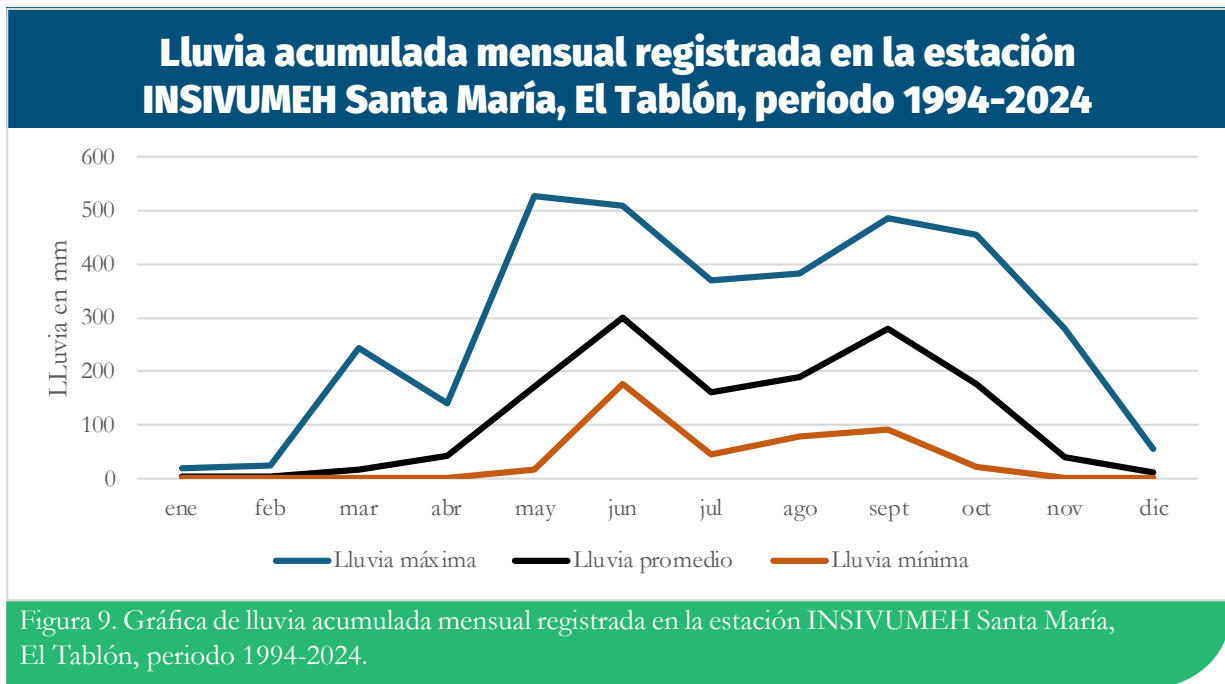


Figura 9. Gráfica de lluvia acumulada mensual registrada en la estación INSIVUMEH Santa María, El Tablón, periodo 1994-2024.

Los registros de lluvias en la estación del INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2024, muestran la ocurrencia de lluvias entre enero y abril, sin embargo, dentro este periodo en otros años no se registraron lluvias. A partir de abril, la lluvia se incrementa con un promedio de 41.5mm. Los valores de lluvia entre los percentiles 25 y 75, oscilan entre 18.1 mm y 64.9 mm, respectivamente. El máximo acumulado registrado en abril fue de 139.8mm, mientras que en algunos años la precipitación fue nula. Entre mayo - noviembre no se registraron meses sin lluvia en el periodo de

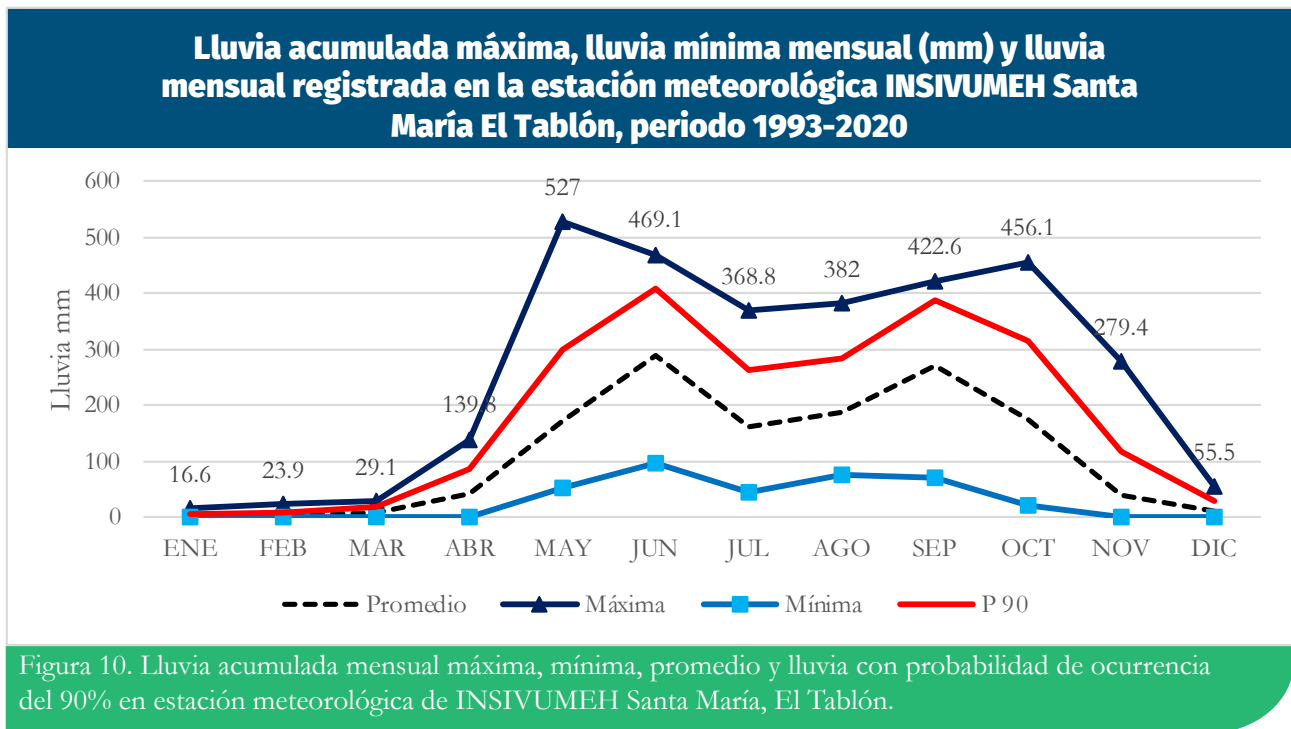
observación mencionado.

5.1.1.4. Lluvias fuertes

En los registros mensuales de la estación Santa María El Tablón, se tienen acumulados de lluvia que han excedido los valores con probabilidad del 90%, que son eventos extremos entre los registros máximos (Figura 10). Los eventos extremos de lluvia mensual fueron, en mayo de 2010 con 527 mm, junio de 2005 con 469.1 mm, julio de 2011 con 368 mm, agosto de 2010 con 382 mm, septiembre de 1997 con 422.6 mm, octubre de 2019 con 456.1 y noviembre de

1998 con 279.4 mm; dichos eventos de máximos acumulados mensuales se asocian a la influencia de eventos ciclónicos tropicales, tales como: el huracán Mitch (26 de octubre y 4 de noviembre de 1998), el huracán Stan (3 y 5 de octubre de 2005), la tormenta Agatha (mayo de 2010), la depresión tropical 12E (octubre de 2011). Se

han registrado otros acumulados mensuales de lluvia que han excedido el percentil 90, sin estar asociados a fenómenos ciclónicos tropicales, por ejemplo: un evento ocurrió en mayo, tres en junio, dos en julio, tres en agosto, dos en septiembre y tres en octubre.



La figura 11 presenta las lluvias con mayores acumulados mensuales registradas en la estación de Santa María El Tablón. Los acumulados mensuales de lluvia se consideran extremas, cuando superan el percentil 90 de los registros

de lluvia. Para la zona norte del departamento de Sololá se registró en mayo de 2010 un acumulado de 527 mm. Seguido de 456.1 mm de lluvia acumulada en octubre de 2005.

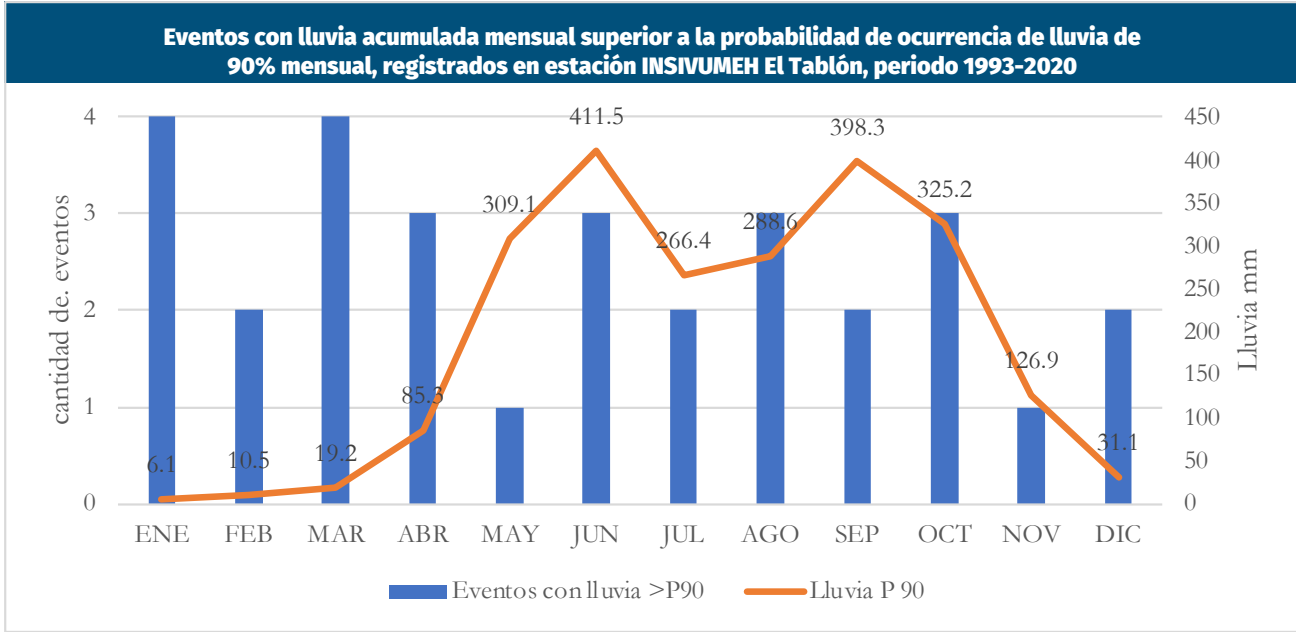


Figura 11. Cantidad de eventos que igualaron o superaron la lluvia acumulada mensual con probabilidad de 90% registrada en la estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2020.

Los máximos acumulados mensuales, como se indicó, se asocian a fenómenos meteorológicos de gran escala, como ciclones tropicales en sus diferentes categorías, fenómenos que han tenido impacto en el departamento de Sololá, como el huracán Stan (octubre de 2005), donde la lluvia acumulada de octubre fue de 386.5mm, que superó la probabilidad del 90% de lluvias de octubre en la estación Santa María, El Tablón. El máximo acumulado de lluvia diario para la zona norte del departamento de Sololá se registró para el 30 de mayo de 2010 con 215.8 mm debido a los efectos la tormenta Agatha. Otros eventos significativos incluyen el 03 de junio de 2014 con 180.5 mm y el 05 de octubre de 2005 166 mm por efectos de la tormenta Stan. En cuanto a datos más recientes (2020-2024), el mayor acumulado diario fue 109.5 mm, registrado el 16 de junio de 2024, sin influencia de evento ciclónico.

En la estación de Santiago Atitlán, la lluvia en octubre de 2005 fue de 496.1mm, superando la probabilidad del 90% (333 mm) para ese mes.

Los máximos de lluvia en un día que se han registrado en el departamento de Sololá, en su mayoría asociados con fenómenos ciclónicos, siendo éstos el huracán Mitch 1998, tormenta Stan 2005, tormenta Agatha 2010, depresión tropical 12 E 2011, tormenta tropical Boris 2014 y en el año 2015 en junio y septiembre influenciados por fenómenos locales.

Cuadro 2 Lluvia máxima acumulada en un día durante los fenómenos meteorológicos ocurridos en el periodo 1991-2023 en Sololá.

Estación	Huracán MITCH 1998	Tormenta tropical STAN 2005	Tormenta tropical AGATHA 2010	Depresión tropical 12E 2011	Tormenta Tropical BORIS 2014	2015	Lluvia Máxima en un día mm
EL Capitán	252	144.6	322	95	213	116	322
EL Tablón	146	166	215	180.5	181	105	215
Santiago Atitlán	95	230	145	75.9	76	74.8	230

La figura 12 muestra la distribución espacial de las lluvias máximas registrada en un día en el territorio del departamento de Sololá. Donde

resalta que el territorio de San Lucas Tolimán y San Antonio Palopó fueron afectados por acumulados superiores a los 279 mm/día.

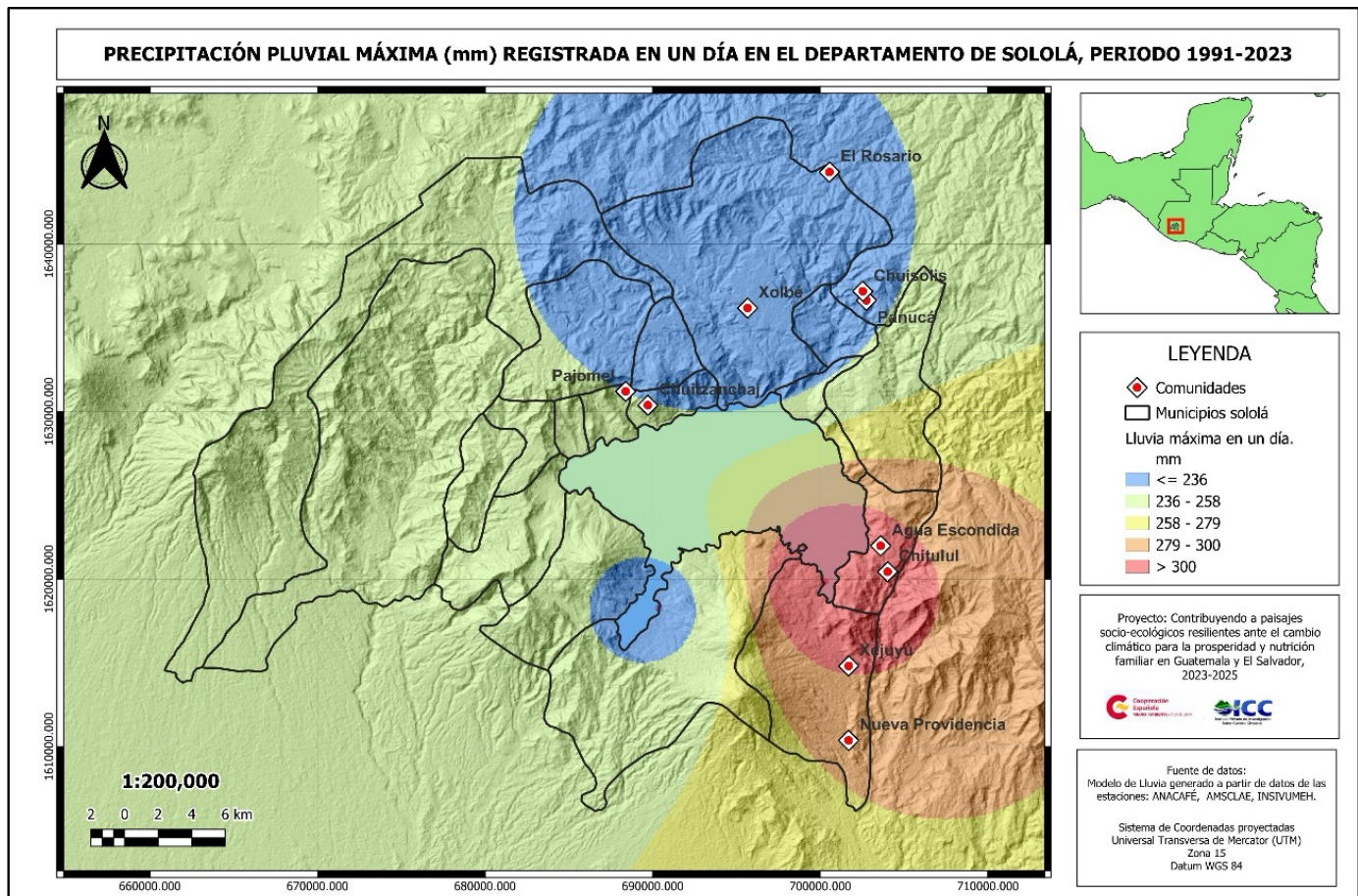


Figura 12. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.

